

SKALA WAKTU DAN PENENTUAN WAKTU DARI SISTEM GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Ayob bin Sharif, Ph.D

Panel Ukur Geodetik dan GPS

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi

Universiti Teknologi Malaysia, 80990 Johor Bahru, Johor

Abstrak

Bahagian pertama kertas kerja ini memberi penerangan jenis-jenis skala waktu yang digunakan untuk mendapatkan waktu piawai. Skala-skala waktu yang dibincangkan termasuk waktu siderius, waktu semesta, waktu atom dan waktu dinamik. Dua sistem koordinat yang dirujuk bagi penentuan waktu piawai, iaitu koordinat terrestrial tetap-bumi dan koordinat selestial tetap-angkasa juga dibincangkan secara ringkas. Perbincangan melibatkan antara lain faktor-faktor yang memberi kesan kepada kejituan definisi paksi-paksi koordinat rujukan seperti fenomena presesi, nutasi, gerakan khutub dan putaran bumi. Hubungan antara skala waktu juga diterangkan. Kertas kerja ini juga membincangkan waktu sistem GPS. Perbincangan melibatkan ketepatan waktu sistem GPS, pemindahan waktu serta hubungan antara waktu piawai UTC dengan waktu sistem GPS.

1.0 PENGENALAN

Gerakan harian bumi dalam bentuk putaran di sekitar paksinya yang menyebabkan terjadinya fenomena siang dan malam adalah asas pengiraan waktu bagi satu hari, lebih kurang 24 jam. Manakala gerakan tahunan bumi dalam sistem suria dalam bentuk peredaran bumi diatas orbit yang ditentukan mengelilingi matahari adalah asas penentuan dan perkiraan waktu bagi satu tahun, iaitu 365.25 hari.

Ketepatan waktu yang diperlukan oleh setiap individu adalah berbeza-beza. Ia bergantung kepada keperluan masing-masing bagi memenuhi kriteria atau penggunaan yang tertentu. Contohnya bagi ahli sains dalam bidang geodesi dan astronomi yang mengkaji rupabentuk bumi dan fenomena alam semesta, di mana mereka memerlukan kejituan waktu yang sangat tinggi untuk penentuan parameter-parameter berkaitan dengan gerakan bumi, kedudukan bintang-bintang dan planet-planet lain. Bagi umat Islam penentuan waktu juga tidak kurang pentingnya, bukan sahaja untuk melaksanakan segala aktiviti yang telah dirancang tetapi juga untuk mengerjakan amal ibadah mengikut waktu-waktu yang telah ditentukan. Cuma tahap kejituan waktu yang diperlukan sahaja yang membezakan kepentingan waktu bagi setiap individu.

Waktu boleh didapati dari berbagai sumber. Sebelum era penggunaan satelit, waktu yang jitu hanya boleh didapati melalui isyarat radio yang dipancarkan dari stesen-stesen penyiaran waktu oleh beberapa agensi menggunakan alat penerima isyarat waktu. Dalam zaman perkembangan teknologi yang pesat ini, telekomunikasi sudah begitu canggih dan kaedah penyebaran waktu bertambah mudah. Bagi mendapatkan waktu untuk kegunaan am, dimana keperluan ketepatan tidak tinggi, waktu boleh didapati dengan mudah dari perkhidmatan, seperti dari peti television, radio dan perkhidmatan telefon digunakan. Untuk mendapatkan waktu yang berjitu tinggi pula, pengguna boleh mendapatkan waktu secara terus dari satelit-satelit angkasa lepas seperti satelit penentuan kedudukan GPS (Global Positioning System) dan Satelit GLONASS. Waktu yang disiarkan oleh satelit-satelit ini adalah lebih tepat dan mudah didapati dari waktu yang disiarkan oleh stesen-stesen penyebar isyarat waktu.

Bahagian pertama kertas kerja ini membincangkan skala-skala waktu yang telah diistiharkan sebagai waktu piawai yang digunakan oleh organisasi yang bertanggung jawab menyimpan waktu didunia ini. Apabila membincangkan sistem waktu, sistem-sistem koordinat rujukan perlu dibincangkan terlebih dahulu oleh kerana kejituan waktu adalah behubungkait secara langsung dengan kejituan definisi sistem-sistem koordinat tersebut. Jenis-jenis skala waktu yang dibincangkan secara ringkas adalah waktu siderius, waktu atom, waktu semesta dan waktu dinamik. Bahagian kedua kertas kerja ini membincangkan waktu sistem

GPS (Global Positioning System), termasuk perbincangan mengenai kejituan dan kaedah hitungan untuk mendapatkan waktu UTC dari waktu sistem GPS.

2.0 SISTEM SISTEM RUJUKAN KOORDINAT

Sistem-sistem koordinat global diperlukan bukan sahaja untuk mengkoordinasi kedudukan setiap titik dipermukaan bumi ini, tetapi diperlukan juga untuk menyelaraskan waktu bagi setiap negara didunia ini. Untuk memenuhi matlamat tersebut dua jenis koordinat rujukan diwujudkan.

Pertama ialah sistem koordinat terrestrial tetap-bumi yang memberi kedudukan setiap titik di muka bumi ini dalam bentuk sama ada latitud (ϕ) longitud (λ) dan ketinggian (h) atau pun koordinat tiga dimensi (x, y, z). Sistem koordinat tetap-bumi ini adalah sistem koordinat geosentrik (berpusat di pusat jisim bumi) dan berputar mengikut putaran bumi. Skala waktu dunia, waktu UTC (Universal Coordinated Time) yang digunakan adalah berasaskan sistem koordinat terrestrial tetap-bumi ini dimana waktu dirujuk kepada garis longitudnya. Contohnya, zon waktu antarabangsa dirujuk kepada garis meridian di longitud 0° . Waktu piawai bagi setiap negara (termasuk penentuan zon waktu untuk ibadah sembahyang dan puasa) adalah dirujuk kepada garis longitud yang ditentukan oleh pihak yang berkuasa sesuatu negara itu.

Sistem koordinat kedua yang diperlukan ialah sistem koordinat tetap- angkasa atau dalam bidang astronomi lebih dikenali dengan nama sistem koordinat selestial. Sistem koordinat ini adalah penting kerana segala cerapan yang dibuat sama ada cerapan kepada bintang-bintang, matahari atau kepada satelit-satelit buatan manusia untuk penentuan waktu atau kedudukan adalah berdasarkan sistem koordinat selestial ini. Sistem koordinat selestial ini adalah sistem geosentrik juga dan oleh kerana sistem ini dirujuk ke angkasa lepas dalam sistem suria ia tidak berputar apabila bumi berputar.

Perbezaan yang ketara, tanpa tidak mengambil kira kesan kesan yang kecil, antara dua sistem koordinat di atas adalah pada arah paksi-x masing-masing. Paksi-x sistem koordinat terrestrial tetap-bumi ialah kearah titik persilangan antara meridian 0° dan satah khatulistiwa, manakala arah paksi-x sistem koordinat selestial pula ialah kearah ekuinoks vernal (dalam astronomi dikenali dengan nama titik pertama Aries, γ). Sudut yang dibuat antara dua arah paksi-x dua sistem koordinat tersebut ialah sudut waktu ketara siderius Greenwich, GAST (Greenwich Apparent Sidereal Time). Walau bagaimana pun untuk mendapatkan hasil transformasi yang jitu antara dua sistem koordinat tersebut ia memerlukan ketepatan waktu dengan mengambil kira terma-terma kecil planet dalam model matematik yang digunakan.

Untuk mengetahui skala waktu secara mendalam dan tepat, fenomena fizikal bumi yang berkaitan dengan definisi sistem koordinat selestial tetap-bumi, seperti presesi, nutasi, gerakan khutub dan putaran bumi perlu diketahui dan pembetulan yang sesuai perlu dibuat. Ini adalah kerana ketepatan penentuan waktu bergantung pada kejituan definisi paksi-paksi sistem koordinat tersebut.

2.1 Presesi dan Nutasi

Tiori-tiori presesi dan nutasi masing-masing memperkatakan perubahan-perubahan sekular dan berkala pergerakan ekuinoks vernal dan satah khatulistiwa berhubung dengan angkasa inertia. Gangguan-gangguan planet, iaitu tarikan bulan, matahari, dan planet-planet terhadap taburan jisim disekitar kawasan khatulistiwa, menyebabkan satah khatulistiwa dan ekuinoks vernal dalam keadaan sentiasa bergerak. Jesteru itu, paksi putaran bumi sentiasa melakukan pergerakan hampir berbentuk kon disekitar khutub. Bahagian pergerakan yang berkala panjang dikenali dengan presesi dengan kala 25,7000 tahun, sementara bahagian pergerakan yang berkala pendek dikenali dengan nutasi dimana kala utamanya ialah 18.6 tahun. Kecerongan ikliptik, ia itu sudut antara ikliptik dengan satah khatulistiwa berubah-ubah antara $22^\circ.14$ dan $24^\circ.43$ dengan kala 41,000 tahun.

Pergerakan kutub selestial yang disebabkan oleh tarikan bulan dan matahari terhadap bonjol khatulistiwa bumi dikenali dengan presesi bulan-suria. Presesi ini menyebabkan kutub khatulistiwa min bergerak kearah barat dikeliling kutub ikliptik dan lantaran dari itu ekuinoks vernal bergerak kebelakang dengan kadar lebih kurang $50''$ setahun, Roy (1978). Presesi planet pula disebabkan oleh tindakan planet-planet terhadap bumi keseluruhannya. Presesi planet ini menyebabkan ikliptik bergerak dan lantaran dari itu

menyebabkan ekuinoks vernal bergerak ke timur dengan kadar lebih kurang $0''.13$ setahun dan dalam masa yang sama mengurangkan keserongan iktipik dengan kadar lebih kurang $0''.47$ setahun.

2.2 Gerakan Kutub dan Putaran Bumi

Sebagai tambahan kepada preesi dan nutasi, dimana daya tindakbalas putaran bumi terhadap daya-daya gangguan, sistem ini juga mempunyai ayunan mod bebas dikenali sebagai gerakan kutub. Ia adalah hasil daripada kesan gerakan khutub benar disekitar paksi relatif putaran seketika kepada jasad padu bumi. Ini adalah disebabkan oleh ketidakselarian paksi putaran bumi dengan paksi prinsipal inertia bumi.

Deformasi pasang-surut momen inertia kutub bumi, c , yang disebabkan oleh tarikan bulan matahari, menyebabkan perubahan berkala kadar putaran bumi. Terma pasang-surut kala-pendek, pasang-surut lautan separa-harian dan harian boleh menyebabkan perubahan amplitud dalam putaran bumi kira-kira 0.02 hingga 0.07 millisaat dimana 1 millisaat = $0''.015 = 40$ cm, Yoeder et al (1981). Pasang-surut ini juga menyebabkan kira-kira $0''.0002$ perubahan latitud berkala-pendek yang memberi kesan kepada nutasi dan juga gerakan kutub.

3.0 JENIS SKALA WAKTU

Pada asasnya tiga jenis skala waktu adalah: waktu siderius, waktu atom, dan waktu dinamik. Waktu semesta selaras, UTC dan UT1, sebagai contoh adalah waktu siderius dalam bentuk yang berlainan. Waktu atom antarabangsa, TAI (International Atomic Time) dan waktu sistem GPS (Global Positioning System Time) adalah contoh-contoh waktu atom. Dua jenis waktu dinamik yang berbeza sedikit adalah waktu dinamik baripusat, TDB (Barycentric Dynamical Time) dan waktu dinamik terrestrial, TDT (Terrestrial Dynamical Time).

Semua hitungan berhubung dengan waktu dan konstan astronomi untuk penentuan waktu didasarkan kepada resolusi-resolusi yang telah dipersetujui untuk digunakan oleh Kesatuan Astronomi Antarabangsa, IAU (International Astronomical Union) di perhimpunan-perhimpunan Agung Tahun 1976 dan 1979, Kaplan (1981). Resolusi-resolusi yang dimaksudkan adalah yang berhubung dengan konstan, skala waktu, dan rangka asas astronomi (fundamental astronomical frame), FK5. Resolusi-resolusi ini digunakan untuk penurunan semua cerapan yang dibuat selepas 1 Januari 1984. Resolusi-resolusi ini telah diterimapakai kerana rangka FK4 diketahui terdapat putaran berbanding dengan rangka inersial sebanyak $0''.242$ satu abad disekitar khatulistiwa, Sinclair (1987).

3.1 Waktu Siderius

Waktu siderius diukur dengan putaran bumi disekitar paksi putarannya berhubung dengan kedudukan ekuinoks vernal, iaitu salah satu daripada titik persilangan iktipik dan satah khatulistiwa. Kadar putaran bumi berhubung dengan sistem koordinat tetap angkasa diketahui tidak seragam. Jesteru itu, waktu siderius tidak digunakan untuk mengukur waktu bagi kerja-kerja yang memerlukan kejituan tinggi seperti mengesan pergerakan plet bumi dan penentuan parameter putaran bumi. Sebagai gantinya dua jenis waktu digunakan iaitu waktu UTC dan UT1. Kedua jenis waktu ini didasarkan juga pada waktu siderius. Dua bentuk waktu siderius yang sering digunakan ialah waktu siderius min Greenwich, GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) dan waktu ketara siderius Greenwich, GST. GMST boleh didefinisi sebagai sudut yang memberikan kedudukan meridian sifar BIH (Bureau International de l'Heure), yang biasanya dikenali dengan meridian Greenwich, pada bila-bila masa ia bergerak disekitar satah khatulistiwa dari ekuinoks min tarikh ke satu-satu meridian apabila bumi berputar. GST pula boleh didefinisikan sebagai sudut meridian Greenwich dari ekuinoks benar waktu diukur di sekitar khatulistiwa benar tarikh.

3.2 Waktu Atom (AT)

Skala Waktu Atom telah mula digunakan sejak tahun 1956. Ia adalah skala waktu yang dikawal oleh jam-jam atom yang ditempatkan di aras laut dimuka bumi dan diukur dengan ayunan frekuensi penyalun atom cesium. Dengan adanya kristal yang sangat stabil dan jam-jam atom, 'saat' telah didefinisikan semula sebagai asas unit waktu oleh Sistem Unit Antarabangsa, SI (International System of Units, Blair (1974). Oleh itu waktu atom diambil sebagai asas skala waktu seragam untuk seluruh dunia. Definisi saat SI ialah "jangkama kala 9192631770 sinaran bersamaan dengan perubahan antara dua aras hiperhalus (hyperfine)

133 atom cesium di bumi, Bomford (1975). Definisi satu hari SI pula ialah 86400 saat dan satu abad Julian ialah 36525 hari.

Waktu atom antarabangsa, TAI, mula diperkenalkan pada 1 Januari 1972 sebagai skala waktu asasi untuk menyimpan waktu sedunia. TAI diselenggarakan oleh BIH (Bureau International de l'Heure) di Paris. Ia adalah hasil dari analisis data, iaitu data min berpemberat dari jam-jam atom piawai di beberapa negara di dunia. TAI ialah skala waktu yang berterusan. Walau bagaimana pun, disebabkan oleh putaran bumi yang beransur perlahan yang dihubungkan dengan matahari, dimana kadarnya pada masa kini adalah lebih kurang 1 saat setahun, TAI tidak disegerakkan tepat dengan hari suria.

3.3 Waktu Semesta (UT)

Waktu Semesta ialah bentuk am skala waktu yang banyak dikaitkan dengan pergerakan harian matahari dan digunakan sebagai dasar semua penyimpanan waktu awam. Waktu semesta dulunya didefinisikan dengan satu rumusan matematik sebagai fungsi waktu siderius. Penentuan waktu semesta secara klasik adalah dengan cerapan pergerakan ketara harian bintang-bintang yang dicerap dari beberapa balai cerap. Waktu Semesta terdiri dari tiga skala waktu yang berbeza sedikit yang didefinisikan oleh putaran bumi, iaitu, UT0, UT1, dan UT2. UT0 dirujuk kepada putaran seketika bumi di sekitar paksi seketikanya. Ini adalah waktu siderius yang dicerap terus dan mengandungi kesan-kesan pergerakan bumi dan juga kadar putaran bumi yang berkala dan perubahan yang tidak seragam.

Ketidakteraturan paksi putaran bumi dan kadar putaran bumi sendiri, yang mengandungi perubahan jangka-pendek dan jangka-panjang, adalah disebabkan oleh berbagai faktor seperti geseran pasang surut, tindakan teras-mantel, dan juga kesan-kesan bermusim dan atmosfera. Untuk mengatasi masalah yang disebabkan oleh pergerakan paksi putaran, skala waktu yang tidak seragam iaitu UT1 diperkenalkan. UT1 adalah bentuk waktu siderius yang paling banyak digunakan. Ia dirujuk kepada putaran seketika bumi disekitar paksi min dan didapati dari UT0 setelah dibuat pembetulan kesan gerakan khutub untuk anjakan longitud stesen cerapan. Ini dibuat dengan memperakui nilai konstan nominal untuk kadar putaran bumi, Sinclair (1987). UT1 boleh didefinisikan sebagai waktu semesta yang diambil diseluruh dunia yang telah diterbitkan dari cerapan dan telah dibetulkan untuk kesan gerakan kutub tetapi masih mengandungi kesan ketidakseragaman kadar putaran bumi. Waktu UT2 pula diterbitkan dari waktu UT1 setelah dibuat pembetulan nilai ramalan perubahan-perubahan bermusim kadar putaran bumi. UT2 berbeza dari UT1 dengan nilai perubahan bermusim dianggarkan antara $\pm 0^s.03$, Bomford (1980).

Disebabkan putaran bumi berhubungkait dengan matahari kian bertambah perlahan, waktu semesta tidak sepadan dengan TAI. Masalah ini telah diatasi dengan memperkenalkan waktu semesta selaras UTC, iaitu jenis waktu atom yang boleh didapati dari siaran isyarat waktu. UTC didasarkan pada saat SI dan dijaga supaya berjalan mengikut perubahan kadar putaran bumi. Oleh itu UTC berjalan dengan kadar yang sama dengan TAI, tetapi ia ditambah dengan 1 saat (dikenali dengan saat lompat) apabila perlu. Ini biasanya berlaku pada akhir bulan Jun atau Disember setiap tahun. Jesteru itu, beza antara UTC dengan TAI ialah dengan bilangan integer saat. UTC juga diselenggarakan agar perbezaannya dengan UT1 tidak melebihi ± 0.9 saat.

3.4 Waktu Dinamik

Waktu dinamik ialah sejenis skala waktu yang diperkenalkan dalam tahun 1984 untuk menggantikan waktu efemeris, ET (Ephemeris Time). Waktu efemeris didefinisikan sebagai waktu yang diukur oleh pergerakan bulan. Peredaran bulan mengelilingi bumi ialah waktu kala orbitan yang paling jitu diketahui dan oleh itu ia diambil sebagai fenomena ulangan untuk mengira satu waktu piawai. Walau pun waktu efemeris ini sebaik-baiknya diukur dengan pergerakan bulan, ia dulunya didefinisikan dengan kala pergerakan bumi mengelilingi matahari untuk tahun 1900.00, Kaula (1966).

Waktu dinamik adalah waktu yang seragam yang mengawal pergerakan jasad-jasad dalam medan graviti mengikut teori-teori tertentu seperti teori mekanik Newton atau relativiti am. Dua jenis waktu dinamik yang

berbeza sedikit yang telah diperakui oleh resolusi IAU adalah waktu dinamik baripusat, TDB, dan waktu dinamik terrestrial, TDT.

Waktu dinamik baripusat dirujukkan kepada pusat jisim sistem suria, dikenali sebagai Baripusat. Oleh itu waktu dinamik barisentrik digunakan untuk persamaan pergerakan relatif kepada sistem suria baripusat. Waktu ini memberikan skala waktu yang seragam untuk pergerakan dalam medan graviti bumi dan mempunyai kadar yang sama dengan kadar jam atom di bumi. Waktu dinamik terrestrial berbeza dengan waktu dinamik baripusat disebabkan perubahan relativiti berkala. Waktu dinamik terrestrial ialah skala waktu untuk dinamik orbit planet sebagai yang dicerap dari bumi. Sebagai contoh, semua perhitungan orbit satelit menggunakan waktu dinamik terrestrial TDT. Skala waktu TDB pula digunakan untuk hitungan kuantiti-kuantiti presesi dan nutasi dan juga hitungan daya-daya gangguan satelit. Kedua-dua skala waktu dinamik ini adalah bebas dari putaran bumi.

3.5 Hubungan Antara Skala Waktu

Hubungan antara berbagai skala waktu boleh dihuraikan dengan persamaan seperti berikut:-

$$UT1 = UTC + \Delta UT1 \quad (1)$$

$$TAI = UTC + \Delta AT \quad (2)$$

$$TDT = TAI + 32^s.184 \quad (3)$$

dimana,

ΔAT : adalah beza antara TAI dan UTC

$UT1$: adalah beza antara UT1 dan UTC

Nilai-nilai semasa ΔAT dan $\Delta UT1$ diterbitkan dalam isu mingguan Bulletin A dan isu bulanan Bulletin B Perkhidmatan Putaran Bumi Antarabangsa, IERS (International Earth Rotation Service). Waktu dinamik baripusat dikira dengan persamaan berikut:-

$$\begin{aligned} TDB &\approx TDT + 0^s.001658 \sin(g + 0.0167 \sin g) \\ &+ \text{terma bulan dan planet peringkat } 10^{-5} \text{ saat} \\ &+ \text{terma harian peringkat } 10^{-5} \text{ saat} \end{aligned} \quad (4)$$

dimana g ialah anomali min bumi dalam orbitnya mengelilingi matahari dan diberi dengan persamaan berikut:-

$$g = \frac{(357^{\circ}.528 + 35999^{\circ}.050T)2\pi}{360^{\circ}} \quad (5)$$

Dalam persamaan (5) T ialah sela waktu diukur dalam abad Julian TDB antara epok asasi dan epok yang diperlukan dan diberi dengan persamaan berikut:-

$$T = \frac{(J - 2451545.0)}{36525} \quad (6)$$

dimana,

J : adalah tarikh Julian TDB epok.

4.0 SISTEM NAVSTAR GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Objektif utama sistem NAVSTAR(NAVigational Satellite Timing And Ranging) GPS atau ringkasnya sistem GPS sahaja dibangunkan adalah untuk tujuan pandu arah di darat, laut dan udara. Disamping memberi maklumat untuk tujuan pandu arah, sistem GPS ini juga dapat memberi kedudukan yang jitu

dalam 3-dimensi (x,y,z), kelajuan (v) dan juga waktu (t) yang memenuhi kriteria untuk pengukuran geodetik dan kegunaan saintifik. Constilasi sistem GPS telah diistiharkan lengkap pada 27 April 1995 menggunakan satelit-satelit generasi keduanya, Blok II. Pada masa kini satelit-satelit GPS yang terbaik untuk penentuan waktu adalah satelit jenis Block II/IIA. Setiap satelit GPS jenis membawa 4 jam atom, 2 jenis ceasium dan 2 rubidium, untuk penentuan kedudukan dan waktu yang tepat.

Sistem GPS memberi perkhidmatan kedudukan dan waktu dalam dua tahap kejitian, SPS (Standard Positioning Service) dan PPS (Precise Positioning Service) untuk semua pengguna dimerata dunia tanpa dikenakan bayaran secara lansung. SPS disediakan melalui frekuensi radio GPS L1 yang mengandungi kod C/A (coarse acquisition) dan maklumat pandu arah. SPS dapat memberi pemindahan waktu sistem GPS kewaktu UTC pada ketepatan nanosaat. PPS pula dapat memberi ketepatan yang tinggi untuk kedudukan, kelajuan dan waktu menggunakan data yang dipancarkan pada frekuensi GPS L1 dan L2. Ketepatan waktu yang boleh didapati melalui PPS ini adalah dalam lingkungan 200 nanosaat.

Setiap alat penerima GPS dibuat untuk kegunaan tertentu, contohnya ada jenis dibuat untuk kerja pengukuran berjitu tinggi (geodetic receiver), untuk kerja yang tidak memerlukan kejitian tinggi (non-precise receiver), untuk pandu arah (navigation receiver) dan ada juga alat penerima GPS yang dibuat khas untuk menerima waktu (time receiver). Ketepatan waktu yang dapat diberikan oleh alat penerima ini bergantung kepada jenis osilator yang digunakan. Contohnya, geodetic receiver menggunakan quartz kristal yang bermutu tinggi dan mempunyai kestabilan pada tahap nanosaat (10^{-9}). Alat penerima yang khas bagi penentuan waktu biasanya menggunakan osilator ceasium, rubidium atau hidrogen maser yang mempunyai kestabilan antara 10^{-11} hingga 10^{-15} . Walau bagaimanapun alat penerima seperti ini adalah mahal dan hanya digunakan untuk penentuan waktu standard bagi sesebuah negara atau untuk menjejak satelit bagi kegunaan saintifik.

4.1 Waktu Sistem GPS

USNO (United States Naval Observatory) mengawasi waktu sistem GPS untuk memberi satu waktu rujukan yang reliabel dan stabil bagi satelit-satelit GPS. Sistem waktu sistem GPS ini diberi oleh jam komposit, CC (Composite Clock) yang mengandungi semua jam standard stesen kawalan GPS, MS (Monitor Station) dan juga jam jam satelit. Sistem waktu sistem GPS ini pula dirujuk kepada "Master Clock" (MC) di USNO dan dikendalikan supaya waktu sistem ini tidak berbeza lebih dari microsaat dengan waktu standard UTC. Beza yang tepat diberi dalam maklumat pandu arah yang dihantar bersama efemeris siaran dalam bentuk konstan A0 dan A1, memberi beza waktu dan kadar waktu sistem berbanding dengan waktu UTC (USNO, MC). Waktu UTC (USNO) sendiri dijaga supaya sama (perbezaan yang minima) dengan jam UTC antarabangsa yang diselenggarakan oleh BIPM (Bureau International des Poids et Measures), iaitu bahagian yang menjalankan aktiviti waktu di BIH.

Waktu sistem GPS dirujuk kepada waktu 0000h UTC pada tengah malam 5 Januari 1980/pagi 6 Januari (0000 UT) 1980. Waktu sistem GPS adalah waktu yang berterusan (tidak dilaraskan) dan tidak seperti waktu UTC dimana pembetulan berkala untuk saat lompat integer dibuat. Oleh itu waktu sistem GPS berbeza dengan waktu UTC oleh jumlah saat lompat dan juga berbagai selisih jam. Bilangan integer akan kekal sehingga perubahan saat lompat berlaku lagi. Offset ini juga diberi dalam maklumat pandu arah satelit dan alat penerima pengguna akan membuat pembetulan secara automatik. Mulai 1 Julai 1997 yang lalu waktu sistem GPS adalah lebih awal dari waktu standard UTC dengan 12 saat.

Selain dari saat lompat terdapat juga pembetulan yang lain yang diberi dalam maklumat pandu arah. Pembetulan ini hanya penting bagi pengguna yang ingin mendapatkan kedudukan dan waktu berjitu tinggi dan dibincangkan dibahagian 4.3.

4.2 Pemindahan Waktu Sistem GPS

Pada masa kini waktu sistem GPS adalah sistem yang paling kompeten untuk pemindahan dan penyebaran waktu. Sistem ini menggunakan pengukuran waktu TOA (Time Of Arrival) untuk menentukan kedudukan penggunaanya. Penggunaan jam jitu oleh pengguna tidak berapa penting kerana waktu didapati bersama kedudukan dengan pengukuran TOA kepada empat satelit yang dapat dijejak serentak. Jika altitud pengguna diketahui, cuma tiga satelit sahaja yang diperlukan untuk mendapatkan waktu.

4.3 Hitungan Waktu UTC Dari Waktu Sistem GPS

Seperti yang dinyatakan di atas waktu sistem GPS diterbitkan dari waktu UTC yang masing masing diselenggarakan oleh jam-jam yang berasingan. Unit yang digunakan untuk waktu sistem GPS adalah minggu (1 minggu = 604,800 saat) dan saat. Micro-processor alat penerima GPS akan hitungan waktu UTC dari waktu sistem GPS. Secara automatik. Bagi pengguna yang memerlukan kejitian waktu yang tinggi hendaklah membuat pembetulan yang sesuai dalam memindahkan waktu sistem GPS kepada waktu UTC. Bagi kegunaan kerja-kerja saintifik, seperti penjejakan satelit untuk menentukan orbit atau parameter kadar putaran bumi, penentuan waktu dibuat berasingan dari alat penerima GPS. Biasanya cerapan adalah menggunakan jam-jam atom (caesium, rubidium atau hidrogen maser) bagi memenuhi kejitian yang diperlukan. Pengguna-pengguna GPS juga boleh membuat pembetulan jam alat penerima yang digunakan jika kelakunan osilator alat penerima diawasi dan menggunakan parameter pembetulan jam satelit yang diberikan oleh satelit dalam maklumat pandu arah yang dipancarkan oleh satelit.

Hubungan antara waktu UTC dari waktu sistem GPS diberi sebagai,

$$t_{\text{utc}} = t_E [\text{Modulus } 86400] - \Delta t_{\text{utc}} \quad (7)$$

dimana

$$\Delta t_{\text{utc}} = t_{\text{ls}} + A_0 + A_1 (t_E - t_{\text{ot}}) \quad (8)$$

dan

- t_E : adalah waktu sistem GPS yang dianggarkan oleh pengguna dan ia adalah modulo 86400 saat relatif kepada mula/akhir minggu GPS.
- t_{LS} : adalah waktu delta (beza) disebabkan oleh saat lompat.
- t_{ot} : adalah waktu rujuk untuk data UTC dan dirujukkan kepada permulaan minggu.
- A_0 : adalah konstan polinomial
- A_1 : adalah terma pertama polinomial

Pembetulan yang diperlukan untuk menerima waktu dari satelit diberi sebagai

$$t = t_{\text{sv}} - \Delta t_{\text{sv}} \text{ saat} \quad (9)$$

dimana,

- t : adalah waktu pancaran waktu sistem GPS dalam saat.
- t_{sv} : adalah waktu fasa kod satelit semasa pancaran maklumat dalam saat.
- Δt_{sv} : adalah ofset fasa kod satelit dalam saat dan diberi sebagai

$$\Delta t_{\text{sv}} = a_{f_0} + a_{f_1} (t - t_{\text{oc}}) + a_{f_2} (t - t_{\text{oc}})^2 + \Delta t_r \quad (10)$$

dimana,

- a_{f_0}, a_{f_1} dari a_{f_2} : adalah pekali polinomial jam satelit.
- t_{oc} : adalah waktu rujukan data jam satelit
- Δt_r : adalah terma pembetulan relativiti dan diberi sebagai

$$\Delta t_r = F e^{1/2} \sin E \quad (11)$$

dimana,

- e : adalah keeksentrikan orbit
- a : adalah paksi separa-besar ikliptik
- E : adalah anomali eksentrik
- F : adalah konstan dimana nilainya ialah $-4.443 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1/2}$

Pekali-pekali a_{f_0} , a_{f_1} dan a_{f_2} diterbitkan dengan menggunakan waktu sistem sistem GPS sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan 10. Kepekaan tsv kepada t dalam persamaan 9 adalah boleh diabaikan dan

oleh itu t boleh dianggarkan dengan tsv dalam persamaan 10. Nilai t diambilkira dari permulaan atau akhir semasa pertukaran minggu GPS. Oleh itu jika kuantiti $t - \text{toc}$ adalah lebih besar dari 302400, maka ditolak 604800 dari t dan jika kuantiti $t - \text{toc}$ adalah kurang dari - 302400, maka tambah 604800 kepada t . Pekali polinomial dan parameter-parameter UTC yang lain dipancarkan bersama dengan efemeris siaran satelit GPS. Semua pembetulan-pembetulan jam, efemeris baru dan data siaran dipancarkan ke satelit dari antenna bumi di tiga Stesen Kawalan GPS ia itu di Ascension Island, Diego Garcia dan Kwajalein setiap jam.

5.0 KESIMPULAN

Ketepatan waktu standard UTC adalah berdasarkan ketepatan definisi sistem-sistem koordinat rujukan. Ini memerlukan pemahaman fenomena fizikal bumi ia itu presesi, nutasi, gerakan khutub dan putaran bumi. Parameter-parameter yang berkait dengan fenomena fizikal bumi ini bukan sahaja diperlukan untuk memberi definisi sistem koordinat rujukan, tetapi diperlukan juga untuk pembetulan waktu bagi kerja-kerja yang berjitu tinggi seperti untuk penentuan kedudukan dalam cerapan bintang geodetik dan penentuan orbit satelit.

Dalam zaman perkembangan teknologi yang pesat ini waktu boleh didapati dengan lebih mudah dan jitu. Kaedah yang terkini untuk mendapatkan waktu adalah dengan menggunakan sistem GPS. Waktu sistem GPS ini dipancarkan pada tahap kejutuan yang tinggi (nanosaat). Untuk mendapatkan waktu yang tepat dari sistem GPS ini pengguna memerlukan alat penerima yang khas dibuat untuk menerima waktu. Alat penerima GPS jenis lain juga boleh memberi waktu, tetapi kejituannya tidak tinggi.

Rujukan

Ayob Sharif, 1989: *Analysis of Broadcast, Precise and Integrated Orbits for Global Positioning System Satellites*. Ph.D Thesis, The University of Newcastle-upon-Tyne, Newcastle Upon-Tyne.

Blair, B.E. (ed), 1974: *Time and Frequency Theory and Fundamentals*. National Bureau of Standards. Monograph 140. Boulder, Colorado.

Bomford, G., 1980: *Geodesy*, (Forth Edition), Clarendon Press, Oxford.

Dana, P. H., 1996: *Global Positioning System Overview*, Department of Geography, The University of Texas.

Kaplan, G.H., 1981: *The IAU Resolutions on Astronomical Constants, Time Scales and the Fundamental Reference Frame*, United States Naval Observatory Circular No. 163.

Kaula, W.M., 1966: *Theory of Satellite Geodesy*. Blaisdell Publishing. Waltham, Massachusetts.

Roy, A.E., 1978: *Orbital Motion*. Adam and Hilger Ltd., Bristol.

Sinclair, A.T., 1987: *Earth Rotation and Reference Systems*. The Summer School in Space and Terrestrial Geodesy, Nottingham

Yoder, C.F., et. al., 1981: *Tidal Variations of Earth Rotation*. Journal of Geophysical Research. Vol. 86, Ng. B2, pp. 881-891.